L-Band Oscillator Chain

Daniel Uppström, SM6VFZ

Introduction

When converting up to and down from the bands above 1 GHz one needs some sort of local oscillator (LO). Modern PLL ICs are now available for frequencies up to 2-3 GHz, but the classical approach of using a crystal oscillator at something like 100 MHz followed by multiplier stages is still competitive and features in general less phase-noise than a PLL solution operating directly at the target frequency. By using SMD components only, an oscillator chain with high performance and stability has been implemented in a small board size. It delivers a signal in the L-band region centered at 1.2 GHz, which is achieved by a total multiplication factor of twelve. By the insertion of varactor diodes in series with the crystal it is possible to fine-tune the frequency or lock it to an external frequency normal. Most testing and evaluation have been done with a crystal at 96 MHz and a target frequency of 1152 MHz (which is needed for conversion between 1296 and 144) but the circuit is designed to be versatile for a variety of applications and tests at other frequencies have been done as well, se table 1. Spuriouses were -40 dBc or better in all listed cases.

Output	(xtal) Freq.	Measured Output Power (mW)
1128	(94)	18
1152	(96)	20
1278	(106.5)	12
1291	(~107.6)	11

Table 1

Circuit description

The oscillator circuit is of butler type and follows much of the guidelines mentioned in (1). The overall gain of the two transistors (Q1 and Q2) is designed to be moderate in order to avoid spurious oscillations. The oscillation voltage is also cut at 0.6 V peak-to-peak by the two anti-parallel schottky diodes D1. This ensures that the transistors work in a linear fashion. If the diodes were not present, the amplitude of oscillation would be determined by the saturation point of the transistors and the circuit would behave non-linear and let low-frequency noise mix with the carrier. This noise would then directly add up to the phase-noise of the LO which would worsen the performance. By lightly loading the transistors the effect of temperature variations on frequency and power level is also reduced.

The crystal operates in series resonance mode at the fifth overtone, which is achieved by tuning C3 to be resonant with L1 at this frequency region. The coil L2 tunes out the holder capacitance. By introducing the varactors D2 and D3 it is possible to pull the frequency upwards somewhat. Since it is often necessary to pull more symetrically around the specified frequency, a coil, L4, can also be introduced to shift the pulling range to cover downward frequencies as well. But coils always have some loss which will hurt the Q of the resonance circuit and increase phase-noise. For best performance the crystal should probably be ordered some 3 kHz low so that L4 can be excluded. See (1). Resistor R3 removes excessive gain in the oscillator and helps maintain a well defined oscillation and a low phase-noise. It should be noted that in some cases a little more gain is needed for the oscillator to behave well and the value of R3 could be increased or the resistor could even be removed. This seems to be more important the higher the oscillation frequency is.

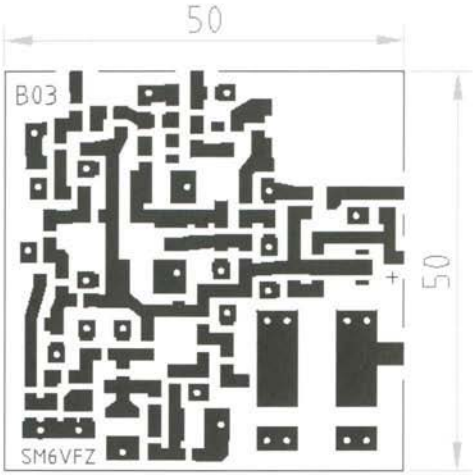
The oscillator is followed by a buffer stage (Q3) that isolates it from the chain and also makes it possible to connect an external circuit in order to monitor the frequency. By feeding the oscillator signal to some PLL/FLL-circuit and the resulting error signal to the Vtune port, the frequency could be locked to some frequency normal. See for instance (2). If no such locking is necessary, a tuning voltage is available from VR1. The tuning voltage is applied through the coil L3 which should be self-resonant near the operating frequency for best performance.

The oscillator signal is amplified in Q4 and fed into Q5 which then behaves nonlinear due to the high signal level. The fundamental frequency is damped in a fixed value filter while the second harmonic is able to pass through to the next stage. The collector circuit of Q6 forms part of a highly selective filter which, when properly tuned, turns the stage into a tripler. To achieve the needed total factor of twelve, the frequency is then doubled in Q7 which is also followed by a selective filter that needs some tuning. The coil L9 should have a value that makes it operate near the self-resonance frequency.

Construction and tuning

The board material is 1.6 mm thick FR4 and it measures 50x50 mm. One side is completely unetched and serves as ground layer. All holes indicated in the layout are simply through connections to ground that needs some millimeters of wire. Since the board is rather thick it radiates at high frequencies and some screening should be mounted around it.

The tuning procedure starts by setting VR1 to its middle position and connecting it to Vtune. With a frequency counter connected to the "osc out" port (or a receiver losely connected), C3 can be tuned for oscillations in the right frequency region. It should also be checked that the exact frequency could be set by VR1. When the oscillator seems to behave well, the filters in the chain could be tuned. Points of resonance should first be searched for where the trim capacitors are not very far from their middle positions. Notice also that the optimum point of C17 is quite dependent on C20 and vice versa. When the right points are found, an output power in the region of 10-13 dBm should be expected, depending on output frequency. Unwanted spuriouses should be more than 40dB below the carrier if properly tuned. If one tolerates a little less spurious suppression it should be possible (but tricky!) to tune the circuit without access to a spectrum analyzer. One could then get along with just a power meter and a frequency counter, although spectrum analysis is of course highly recommended.



Layout

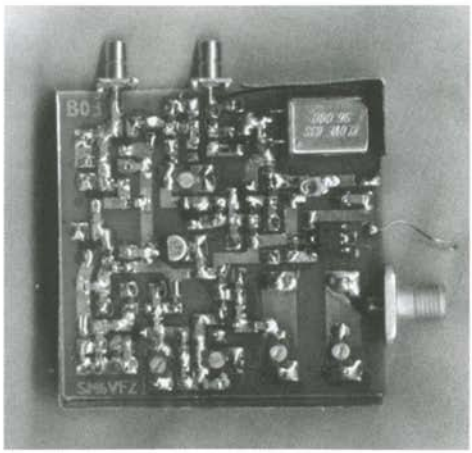


Fig.: L-Band Oscillator Chain

Correspondance with the author could be sent to:
upda@eta.chalmers.se

References / Referenzen

(1) Gerhard Hoffmann (DK4XP): Low Noise VHF-Crystal Oscillators, DUBUS 4/2000 and 2/2001.

(2) Luis Cupido (CT1DMK): Locking VCXOs to 10 MHz for Microwave and mmWave Local Oscillators, DUBUS 3/2002, Locking VCXOs ... Universal Version, Locking ... to a GPS 1 pps Output, DUBUS 1/2003

L-Band Oszillator-Kette

Daniel Uppström, SM6VFZ

Einleitung

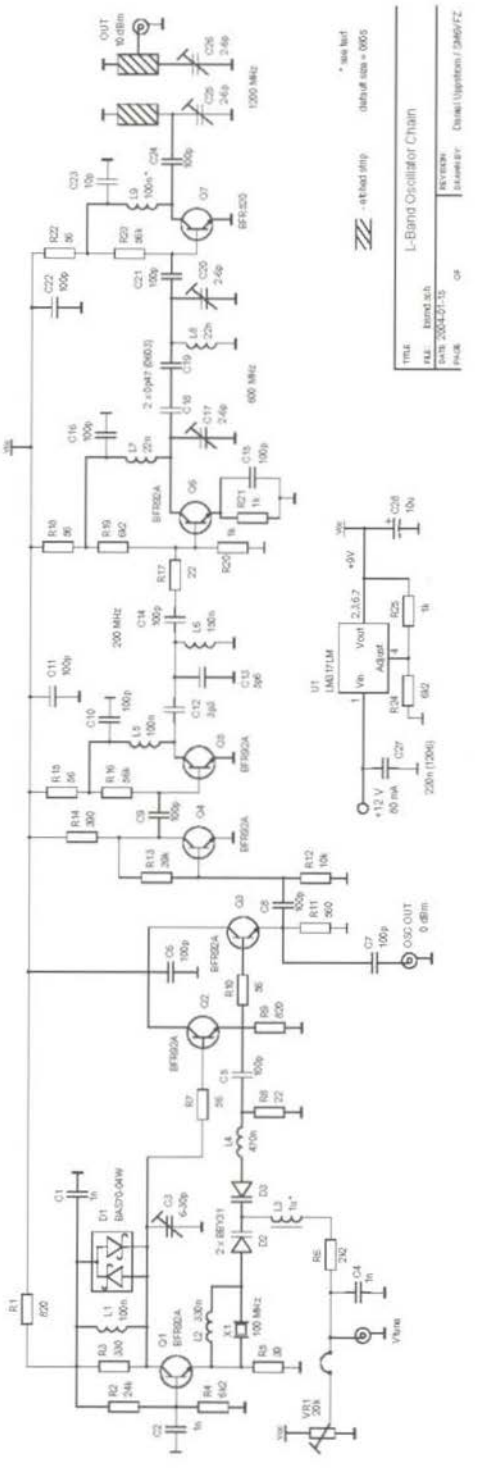
Wenn man auf bzw. von den Bändern oberhalb 1 GHz umsetzt, benötigt man einen Local Oscillator (LO). Moderne PLL ICs sind zwar inzwischen für Frequenzen bis 2-3 GHz verfügbar, aber die klassiche Methode eines Quarzoscillators bei um 100 MHz gefolgt von Verfielfacherstufen ist immer noch konkurrenzfähig und hat normalerweise den Vorteil eines geringeren Phasenrauschens als eine PLL-Lösung, die direkt auf der Zielfrequenz arbeitet.

Durch die ausschließliche Verwendung von SMD-Bauteilen wurde eine Oszillator-Kette mit hoher Performance und Stabilität auf einem kleinen Board realisiert.

Es wird ein Signal im L-Band geliefert, das auf 1.2 GHz zentriert ist und insgesamt durch eine 12-fache Multiplikation erzeugt wird.

Durch die Verwendung von Varactor-Dioden in Serie mit dem Quarz ist es möglich, die Frequenz fein abzustimmen oder an ein externes Frequenznormal zu koppeln.

Part	Value	Size	Comment
R1, R9	820	0805	
R2	24k	0805	
R12	10k	0805	
R3	330	0805	
R4, R19, R24	6k2	0805	
R5	39	0805	
R6	2k2	0805	
R7, R10, R15, R18, R22	56	0805	
R8, R17	22	0805	
R11	560	0805	
R13	39k	0805	
R14	390	0805	
R16, R23	56k	0805	
R20, R21, R25	1k	0805	
VR1	20k		AVX type:CVR4
C5,C6,C7,C8, C9,C10,C11, C14,C15,C16, C21,C22,C24	100p	0805	
C1, C2, C4	1n	0805	
C3	6-30p		Murata / Panasonic
C12	3p3	0805	
C13	5p6	0805	
C17, C20, C25, C26	2-6p		Murata / Panasonic
C18, C19	0p47	0603	
C23	10p	0805	
C27	220n	1206	
C28	10u / 16V		
L3	1u	0805	Murata
L6	150n	0805	Epcos type SIMID
L4	470n	0805	Epcos
L2	330n	0805	Epcos
L1, L5, L9	100n	0805	Epcos
L7, L8	22n	0805	Epcos
Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6	BFR 92A	SOT -23	Philips
Q7	BFR 520	SOT -23	Philips
U1	LM317 LM	SOI C8	National
D1	BAS70-04W	SOT -23	ST
D2,D3	BBY31	SOT -23	Philips
X1	100 MHz etc.		5th overtone series resonant



Die meisten Tests und Untersuchungen wurden mit einem 96-MHz-Quarz und einer Zielfrequenz von 1152 MHz durchgeführt. (Diese wird für die Umsetzung zwischen 1296 und 144 MHz benötigt.) Die Schaltung ist aber so ausgelegt, dass sie für verschiedene Frequenzen variabel ist und es wurden auch Test mit anderen Frequenzen durchgeführt. Siehe hierzu Tabelle 1. Unerwünschte Harmonische werden in allen Fällen -40dB oder besser unterdrückt.

Output	(xtal) Freq.	Gemessene Ausgangsleistung (mW)
1128	(94)	18
1152	(96)	20
1278	(106.5)	12
1291	(~107.6)	11

Tabelle 1

Die Schaltung

Es handelt sich um einen Butler-Oszillator, der sich überwiegend nach den Richtlinien von (1) richtet. Die gesame Verstärkung der zwei Transistoren Q1 und Q2 wurde niedrig gehalten, um unerwünschte Harmonische gering zu halten.
Die Oszillator-Spannung wurde ebenfalls auf 0.6 V Spitze-Spitze durch zwei antiparallele Schottky-Dioden (D1) begrenzt. Dadurch wird lineares Arbeiten der Transistoren abgesichert.

Ohne diese Dioden würde die Amplitude der Schwingung durch die Sättigungspunkte der Transistoren begrenzt. Die Schaltung würde sich unlinear verhalten und Rauschen niedriger Frequenz würde sich mit dem Träger mischen. Dieses Rauschen würde sich dann direkt zum Phasenrauschen des LO addieren und die Performance verschlechtern. Durch leichtes Belasten der Transistoren wird der Einfluß von Temperaturschwankungen auf Frequenz und Höhe der Ausgangsleistung verringert.
Der Quarz arbeitet in Serienresonanz auf dem 5. Oberton. Dies wird durch die Abstimmung von C3 auf Resonanz mit L1 in diesem Frequenzbereich erreicht. Die Spule L2 stimmt die Halter-Kapazität ab. Durch das Einfügen der Varactor-Dioden D2 und D3 ist es möglich, die Frequenz etwas nach oben zu ziehen.
Da es oft nötig ist, um eine bestimme Frequenz symmetrisch herum ziehen zu können, kann eine weitere Spule (L4) eingefügt werden, um den Ziehbereich zu verschieben und auch niedrigere Frequenzen zu erreichen.
Aber Spulen haben immer auch Verluste, die die Güte des Schwingkreises verringern und das Phasenrauschen erhöhen. Für beste Performance sollte deshalb wahrscheinlich der Quarz etwa 3 kHz niedriger bestellt werden, so dass man L4 weglassen kann. (Siehe (1)).
Der Widerstand R3 verhindert zu starke Verstärkung im Oszillator und hilft eine gut definierte Schwingung und niedriges Phasenrauschen zu erhalten. Man sollte hier anmerken, dass in einigen Fällen etwas mehr Verstärkung für den Oszillator benötigt wird, damit dieser sich „gutartig" verhält und R3 sollte vergrößert werden oder sogar ganz weggelassen werden.
Dies scheint um so wichtiger sein, je höher die Oszillator-Frequenz ist.

An den Oszillator folgt eine Puffer-Stufe (Q3), die die ihn von der Kette isoliert und es außerdem ermöglicht, eine externe Schaltung anzukoppeln, um die Frequenz zu überwachen.
Durch Einspeisen des Oszillator-Signals in eine PLL/FLL-Schaltung und des resultierenden Fehlersignals an den VTune-Port, kann die Frequenz an ein Frequenznormal gekoppelt werden.
Siehe z.B. Referenz (2). Falls solch eine Kopplung nicht nötig ist, ist eine Steuerspannung von VR1 verfügbar. Die Steuerspannung wird durch die Spule L3 zugeführt, die für beste Performance ihre Eigenresonanz nahe der Arbeitsfrequenz haben sollte.
Das Oszillator-Signal wird mit Q4 verstärkt und an Q5 gegeben, der dann aufgrund der hohen Pegel nicht linear arbeitet.
Die Grundfrequenz wird durch ein fest dimensioniertes Filter gedämpft, während die 2. Harmonische hindurch bis zur nächste Stufe gelangt.
Der Kollektor-Kreis von Q6 stellt den Teil eines hochselektiven Filters dar, das, wenn es ordnungsgemäß abgestimmt ist, die Stufe als Verdreifacher arbeiten lässt. Um den benötigten Faktor 12 zu erhalten, wird die Frequenz mit Q7 verdoppelt, ebenfalls gefolgt von einem selektiven Filter, das besonders abgestimmt werden muss.
Die Spule L9 sollte einen Wert haben, der eine Arbeiten nahe der Eigenresonanz ermöglicht.

Aufbau und Abstimmung

Die Platine ist 1.6mm dickes FR4 in der Größe 50 x 50mm. Eine Seite bleibt komplett ungeätzt und dient als Massefläche. Alle Löcher im Layout sind einfache Durchkontaktierungen mit einigen mm Draht nach Masse.
Da die Platine relativ dick ist, schwingt sie auf hohen Frequenzen und es sollte eine Abschirmung um sie herum aufgebaut werden.

Die Abstimmung beginnt mit der Einstellung von VR1 auf die Mittelstellung und des Anschlusses an Vtune. Mit einem Frequenzzähler, der am „osc out" – Port angeschlossen wird (oder einem lose angekoppelten RX), kann C3 auf einen Wert für Schwingungen im richtigen Bereich abgestimmt werden. Man sollte auch kontrollieren, dass die exakte Frequenz mit VR1 eingestellt werden kann. Sobald der Oszillator gut zu arbeiten scheint, können die Filter in der Kette abgestimmt werden. Die Resonanzpunkte sollten zuerst dort gesucht werden, wo die Trimmer nahe der Mittelstellung sind.
Es ist zu beachten, dass der optimale Punkt bei C17 ziemlich von C20 abhängt und umgekehrt.
Wenn die richtigen Punkte gefunden wurden, sollte eine Ausgangsleistung von etwa 10-13dBm erwartet werden, je nach Output-Frequenz.

Unerwünschte Harmonische sollten mehr als 40 dB unterhalb des Carriers liegen, wenn sauber abgestimmt wurde. Wenn man mit etwas schlechteren Werten auskommt, sollte es möglich (ist aber nicht ganz einfach!), die ganze Schaltung ohne Spektum Analyzer abzugleichen. Man geht dann die Stufen nur mit Power-Meter und Frequenzzähler durch. Natürlich ist ein Spektrum-Analyzer der bessere Weg.

Korrespondenz mit dem Autor kann gesendet werden an: upda@eta.chalmers.se